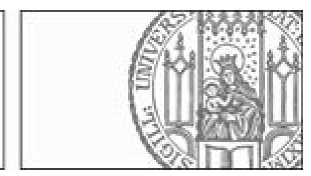




Prof. Dr. Göran Kauermann

Telefon +49 (0)89 2180-6253

goeran.kauermann@lmu.de

Institut für Statistik
Ludwigstr. 33
80539 München

Prof. Dr. Helmut Küchenhoff

Telefon +49 (0)89 2180-2789

kuechenhoff@stat.uni-muenchen.de

Institut für Statistik
Akademiestr. 1/IV
80799 München

CODAG Bericht Nr 5
22.12.2020

1. Anzahl der tödlichen Infektionen steigen weiter - insbesondere in Sachsen ist keine Besserung sichtbar und in Thüringen und Brandenburg spitzt sich die Lage zu
   Göran Kauermann, Marc Schneble, Giacomo De Nicola, Ursula Berger

2. Entwicklung der Inzidenz der Infektionen und der dokumentierten Todesfällen nach Bundesländern und Altersgruppen. Es gibt deutliche regionale Unterschiede bei altersspezifischen Neuinfektionen und einen zeitversetzten Anstieg der Todesfälle bei den ältesten Bevölkerungsgruppen.
   Helmut Küchenhoff, Maximilian Weigert, Felix Günther, Jana Gauß

3. Aktuelle Analysen zum Verlauf der Pandemie: Es gibt Evidenz für ein Ansteigen der Infektionszahlen Ende November. Für eine Beurteilung der Wirkung des verschärften Lockdown ist es noch zu früh.
   Helmut Küchenhoff, Felix Günther, Andreas Bender, Michael Höhle, Daniel Schlichting

Weitere Informationen zu unseren Analysen und zur Corona Data Analysis Group (CoDAG) finden sich auf unserer Homepage https://www.covid19.statistik.uni-muenchen.de/index.html.

1. Anzahl der tödlichen Infektionen steigen weiter - insbesondere in Sachsen ist keine Besserung sichtbar und in Thüringen und Brandenburg spitzt sich die Lage zu

Göran Kauermann, Marc Schneble, Giacomo De Nicola, Ursula Berger

Infektionen mit COVID-19 haben den zeitlichen Ablauf, wie er in Abbildung 1 dargestellt ist. Nach der Infektion treten erste Symptome auf. Ein positiver Test bestätigt die Krankheit, die dann gegebenenfalls tödlich verläuft. Die Zeitspanne zwischen positivem Testergebnis und dem tödlichen Ende der Krankheit kann dabei zum Teil 6 Wochen betragen. Das bedeutet insbesondere, dass eine Reduktion der Infektionszahlen sich erst Wochen später in einer Reduktion der Todeszahlen widerspiegelt. Die Zeitspanne zwischen Test und tödlichem Ende der nachgewiesenen Infektion kann im Rahmen von so genannten Nowcasting-Verfahren statistisch geschätzt werden. **Dies erlaubt es, die Anzahl der in einigen Wochen zu erwartenden Todesfälle schon heute in der Größenordnung vorherzusagen.**

Abbildung 1: Skizze des zeitlichen Verlaufs einer tödlichen COVID-19 Erkrankung.

Basierend auf dem von Schneble et. al (2020, Biometrical Journal, https://doi.org/10.1002/bimj.202000143) entwickelten Nowcasting Verfahrens können wir die Anzahl der Todesfälle von Infektionen schätzen, bei denen in den letzten Tagen bzw. Wochen die Infektion mit einem positiven Test nachgewiesen worden ist. Wendet man die Methode auf die heutige Datensituation an, so zeigt sich, **dass von den in der letzten Woche (KW 51) bei den örtlichen Gesundheitsämtern neu registrierten Infizierten über 6.500 (d.h. durchschnittlich ca. 900 pro Tag) die Krankheit nicht überleben werden.**

Auf Basis des Nowcasting Verfahrens muss daher in nächster Zeit mit einer weiteren Erhöhung der berichteten Todesfallzahlen gerechnet werden.

Abbildung 2: Tägliche tödliche COVID-19 Infektionen in Deutschland in Abhängigkeit des Registrierungsdatums.

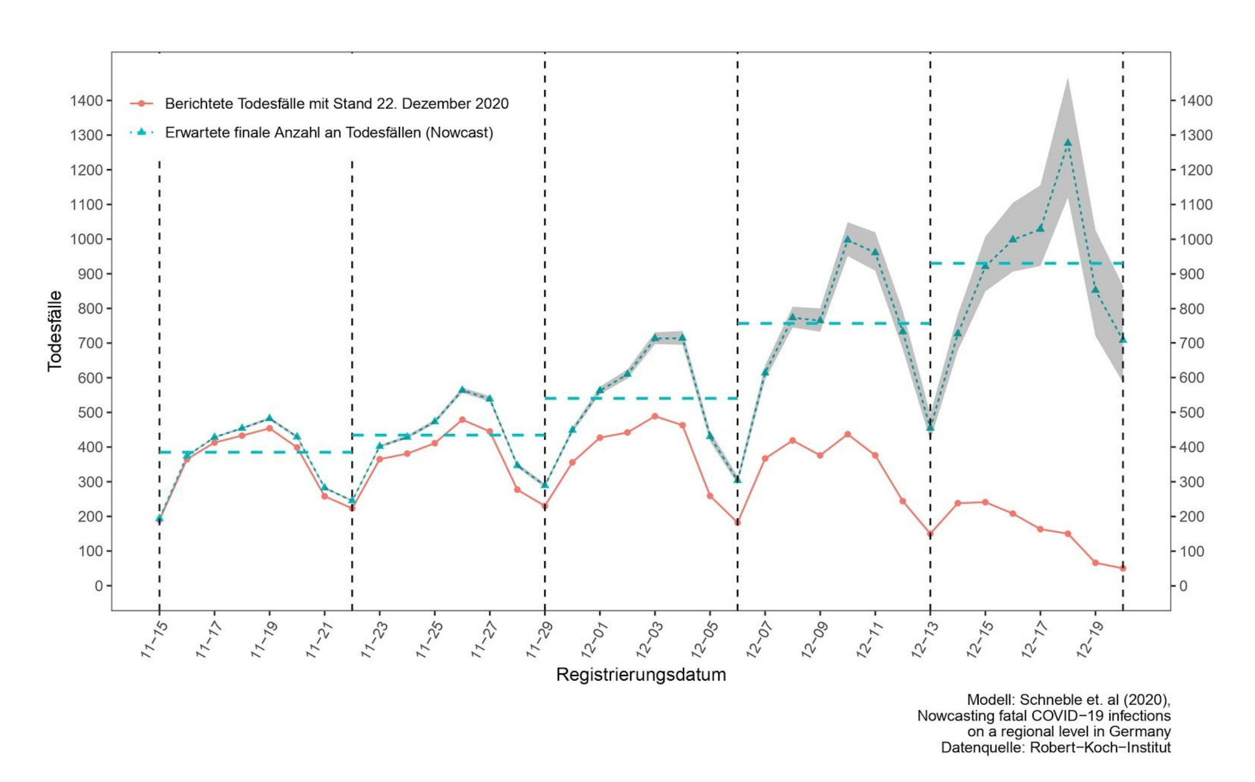


Abbildung 2 zeigt die tagesgenauen Vorhersagen der Todeszahlen von Infizierten für das jeweilige Registrierungsdatum der COVID-19 Infektion beim örtlichen Gesundheitsamt. Zwischen Infektion bzw. deren Registrierung und einem möglichen tödlichen Ende der Krankheit besteht der in Abbildung 1 skizzierte Zeitversatz, der sich in der Differenz der vorhergesagten Werte (obere blaue Linie) und der beobachteten Todeszahlen (untere rote Linie) widerspiegelt. Die wöchentliche Variation ist auf den Meldeverzug zurückzuführen, der sich allgemein in den Daten des RKI findet: Da allgemein weniger COVID-19 Fälle an Sonntagen (visualisiert durch die vertikalen gestrichelten Linien) registriert werden, resultieren daraus auch weniger tödliche Verläufe von Infektionen, die an einem Sonntag gemeldet wurden. Aus diesem Grund ist eine wochenweise Betrachtung so wie durch die horizontalen gestrichelten Linien plausibler.

Unsere Berechnungen zeigen, dass die Todesrate in den letzten Wochen kontinuierlich gestiegen ist. Für den Zeitraum von Mitte November bis Anfang Dezember ist dies hauptsächlich auf die massiv gestiegenen Fallzahlen in der besonders stark vom Virus betroffenen Gruppe der 80+ Jährigen zurückzuführen. Dies bestätigt erneut, dass im Moment die ältere Bevölkerung stark in das Infektionsgeschehen involviert ist, siehe auch Abschnitt 2 in diesem Bericht zur Entwicklung der Inzidenzen nach Altersgruppen.
Die in Abbildung 2 gegebenen Vorhersagen sind natürlich mit statistischer Unsicherheit versehen, was in der Graphik durch den grauen Bereich visualisiert ist.

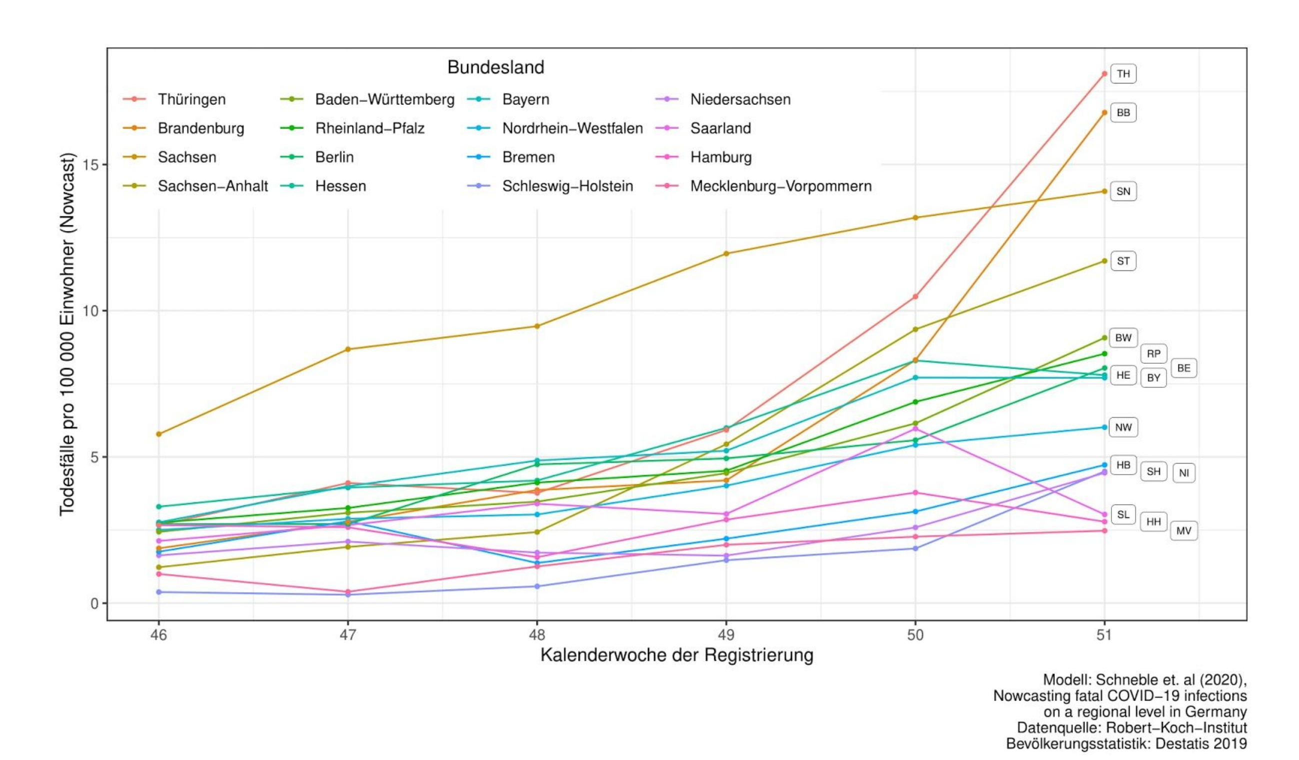
Abbildung 3 zeigt den in Abbildung 2 dargestellten Nowcast der tödlichen COVID-19 Infektionen je Bundesland, wobei die Zahlen hier wochenweise aggregiert sind. Für eine bessere Vergleichbarkeit zwischen bevölkerungsreichen und bevölkerungsarmen Bundesländern sind die dargestellten Zahlen als "Todesfälle pro 100.000 Einwohner pro Woche" zu verstehen. Es ist klar erkennbar, dass Sachsen (SN), über den gesamten betrachteten Zeitraum betrachtet, die meisten Todesfälle pro Einwohner mit Registrierungsdatum zwischen Kalenderwoche 46 und 51 aufweist. **Insgesamt ist in Sachsen für registrierte COVID-19 Fälle aus diesem Zeitraum mit ca. 60 Todesfällen pro 100.000 Einwohner zu rechnen.** Dies spiegelt die besonders problematische Lage in der Gruppe der 80+ jährigen wider (siehe auch Abbildung 4 in Abschnitt 2 in diesem Bericht)**.**

Herausstechender ist die Zuspitzung der Situation in Thüringen (TH) und Brandenburg (BB) als auch zunehmend Sachsen-Anhalt (ST). Die Dynamik der letzten zwei Wochen spiegelt einen klaren exponentiellen Anstieg wider, und **seit KW 51 weisen Thüringen und Brandenburg die höchsten Werte bei den zu erwartenden Todesfällen auf.** Hier werden für registrierte COVID-19 Fälle der letzten Woche jeweils noch mehr tödlich verlaufende Infektionen pro 100.00 Einwohner prognostiziert als in Sachsen. **Insgesamt zeigen die Bundesländer Sachsen, Thüringen und Brandenburg damit zum Jahresende eine ca. 3-fach höhere Sterblichkeit als die meisten anderen Bundesländer.**
Die Analysen sind mit statistischer Unsicherheit behaftet, wie es in Abbildung 2 für die nationalen Nowcasts ausgewiesen ist. Für eine bessere Lesbarkeit werden diese in Abbildung 3 allerdings nicht explizit ausgewiesen.

Herauszustellen in Abbildung 3) ist auch, dass sich der leichte Trend nach oben für einige Bundesländer in der KW 51 nicht weiter fortsetzt. Hier werden ähnliche Analysen in wenigen Tagen zeigen können, ob der Lockdown bereits einen Effekt zeigt. Wöchentlich aktualisierte Analysen veröffentlichen wir auf unserer Homepage.[1]

[1] https://corona.stat.uni-muenchen.de/fatalities/

Abbildung 3: Nowcast-Schätzung der tödlichen wöchentlichen COVID-19 Infektionen je Bundesland bezogen auf die Woche der Registrierung als “COVID-19 infiziert”.



2. **Entwicklung der Inzidenz der Infektionen und der dokumentierten Todesfällen nach Bundesländern und Altersgruppen. Es gibt deutliche regionale Unterschiede bei altersspezifischen Neuinfektionen und einen zeitversetzten Anstieg der Todesfälle bei den ältesten Bevölkerungsgruppen.**

Helmut Küchenhoff, Maximilian Weigert, Felix Günther, Jana Gauß

Aus dem bisherigen Verlauf der Pandemie ist bekannt, dass das Infektionsgeschehen in Deutschland teilweise erhebliche regionale Unterschiede aufweist. Ebenso hat sich bei bundesweiten Analysen (siehe CoDAG-Bericht 4) gezeigt, dass sich die Inzidenz in den verschiedenen Altersgruppen der Bevölkerung deutlich unterschiedlich entwickelt. So ist in den letzten Wochen hauptsächlich bei den ältesten Bevölkerungsgruppen, die vermehrt schwere Erkrankungsverläufe aufweisen, ein steiler Anstieg der Fallzahlen zu beobachten. In unseren Analysen soll daher nun die altersspezifische Entwicklung der Neuinfektionen und Todesfälle auch auf Bundeslandebene betrachtet werden. Die Basis der Analysen stellen die täglich bereitgestellten Daten des Robert-Koch-Instituts und die daraus berechneten 7-Tage-Inzidenzen für Neuinfektionen und Todesfälle dar. Da hierbei Dunkelziffer und Meldeverzug nicht eingerechnet werden (siehe dazu unsere Analysen in Abschnitt 1 und 3), legen wir den Schwerpunkt auf relativ kurzfristige Verläufe und Vergleiche. Bei der Analyse werden fünf Altersgruppen unterschieden (0 - 14 Jahre, 15 - 34 Jahre, 35 - 59 Jahre, 60 - 79 Jahre, ab 80 Jahren). Die Darstellungen werden täglich aktualisiert auf unseren Internetseiten veröffentlicht[2].

Neuinfektionen:

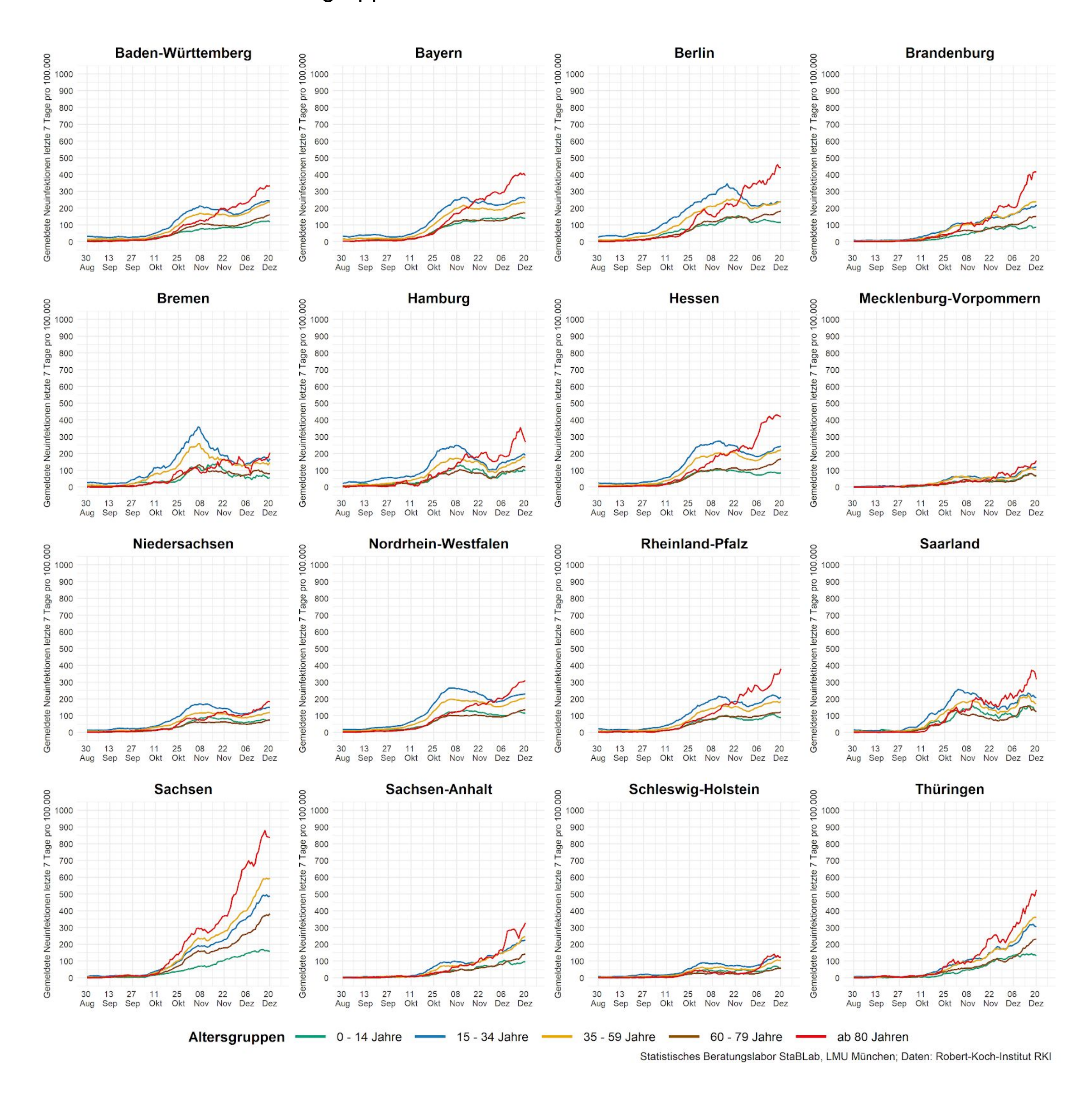
Abbildung 4 veranschaulicht die altersspezifische Entwicklung der Inzidenzen der Neuinfektionen in den einzelnen Bundesländern. Im Ländervergleich sind dabei einige grundlegende Strukturen hinsichtlich des Verlaufs des Infektionsgeschehens in den letzten Monaten für die einzelnen Altersgruppen erkennbar. Zum einen liegt für Personen ab einem Alter von 80 Jahren ein kontinuierliches Wachstum der Neuinfektionen in fast allen Bundesländern seit September vor, was dazu führt, dass diese Bevölkerungsgruppe aktuell überall die höchste Inzidenz aufweist. Der erwähnte bundesweite Trend lässt sich demnach auch auf die regionale Ebene übertragen. Zum anderen ist bei einem Großteil der Bundesländer ab Mitte Oktober eine zeitweise Abflachung bzw. ein leichter Rückgang der Neuinfektionen in den jüngeren Bevölkerungsgruppen zu verzeichnen. Dies gilt für viele der großen Flächenländer wie Bayern und Niedersachsen genauso wie für die Stadtstaaten Berlin, Hamburg und Bremen. In den Stadtstaaten zeigt sich zudem ein weiterer Trend in besonders ausgeprägter Form: Ein Rückgang der Neuinfektionen ab Mitte Oktober ist vor allem für die Gruppe der 15- bis 34-Jährigen zu erkennen, die zuvor meist die höchste Inzidenz aufwies.

Eine Ausnahme von diesem generellen Trend der zeitweisen Abflachung in einzelnen Altersgruppen stellen einige wenige Bundesländer dar, bei denen ein kontinuierlicher Anstieg der Inzidenzen in allen fünf Altersgruppen zu beobachten ist. Dies gilt neben

[2] https://corona.stat.uni-muenchen.de/maps/

Brandenburg, Sachsen-Anhalt und Thüringen insbesondere für Sachsen, das Bundesland, welches bundesweit derzeit mit der deutlich höchsten Inzidenz konfrontiert ist.

Abbildung 4: Verlauf der 7-Tage-Inzidenz der gemeldeten Neuinfektionen getrennt nach Bundesländern und Altersgruppen

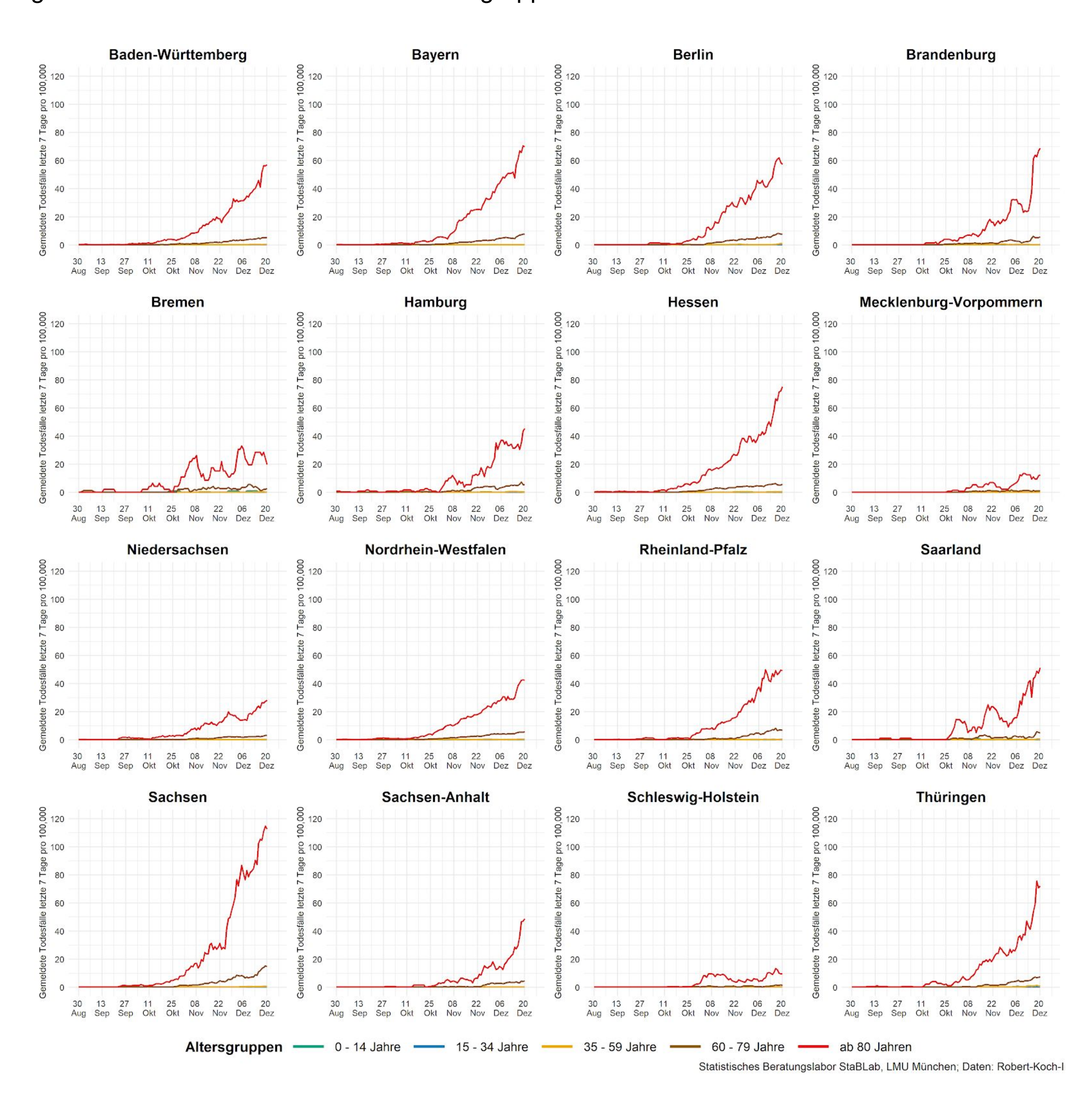


Todesfälle:

Während sich bei der Anzahl der Todesfälle pro 100.000 Einwohner in den einzelnen Altersgruppen große regionale Diskrepanzen ergeben, zeigen sich bei deren Entwicklung in den letzten Monaten, einige Gemeinsamkeiten zwischen den Bundesländern (siehe Abbildung 5). So ist in allen Ländern ein ab Mitte September bis Ende Oktober beginnender und bis heute andauernder exponentieller Anstieg der Todesfälle in der ältesten

Bevölkerungsgruppe zu verzeichnen. Analog zu den Neuinfektionen ist auch hier das stärkste Wachstum in Sachsen zu beobachten. In den meisten Bundesländern zeigt sich zusätzlich ein um zwei bis vier Wochen zeitversetzter Anstieg der Todesfälle für die Gruppe der 60- bis 79-Jährigen, welcher allerdings eine deutlich geringere Intensität aufweist. Dies deutet auf einen weitergehenden Anstieg in dieser Bevölkerungsgruppe auch in den kommenden Wochen hin. Bei den noch jüngeren Bevölkerungsgruppen treten Todesfälle dagegen nur vereinzelt auf, hier lässt sich kaum eine Struktur in der Entwicklung erkennen.

Abbildung 5: Verlauf der wöchentlichen gemeldeten Todesfälle pro 100.000 Einwohner getrennt nach Bundesländern und Altersgruppen



3. Aktuelle Analysen zum Verlauf der Pandemie: Es gibt Evidenz für ein Ansteigen der Infektionszahlen Ende November. Für eine Beurteilung der Wirkung des verschärften Lockdowns ist es noch zu früh.

Helmut Küchenhoff, Felix Günther, Andreas Bender, Michael Höhle[3], Daniel Schlichting

Die aktuellen täglichen Meldezahlen bilden das Infektionsgeschehen der Vergangenheit ab. Im Folgenden stellen wir den Verlauf der Pandemie auf der zeitlichen Ebene der Neuinfektionen (tatsächliches Infektionsgeschehen) dar. Die Berechnungen werden für Bayern, Deutschland und München dargestellt. Hierbei wird zunächst aus den Meldezahlen mit Hilfe eines statistischen Modells die Anzahl an Fällen mit Krankheitsbeginn pro Tag geschätzt (siehe dazu Günther et al., 2020). Die Werte werden werktäglich für Bayern und München veröffentlicht[4]. Für Deutschland sind die entsprechenden Daten über das RKI verfügbar. Anschließend wird unter Berücksichtigung der Inkubationszeit eine Rückrechnung auf den Infektionszeitpunkt durchgeführt. Die Methodik ist in Küchenhoff et al. (2020) beschrieben. Auf der zeitlichen Ebene der täglichen Neuinfektionen werden Regressionsmodelle mit Bruchpunkten geschätzt, zwischen denen eine lineare Entwicklung der logarithmierten Infektionszahlen (das bedeutet eine stückweise konstante Verdopplungszeit) angenommen wird. Die Anzahl der Bruchpunkte wird dabei basierend auf einem statistischen Modellwahlkriterium (AIC) bestimmt. Im vorliegenden Bericht werden die aktuellsten Ergebnisse für Bayern, München und Deutschland dargestellt.

Es zeigen sich folgende Entwicklungen: Insgesamt steigen die täglichen Infektionszahlen in allen betrachteten Regionen im November und Anfang Dezember weiter an. Aktuell kann die Anzahl an Neuinfektionen pro Tag bis zum 08. Dezember geschätzt werden (Deutschland: 06. Dezember). Eine Abschätzung der Wirkung des Lockdown vom 16. Dezember kann daher aufgrund von Inkubationszeit und Meldeverzögerungen aktuell noch nicht erfolgen.

Die Entwicklung der Infektionszahlen ist zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht abschließend zu beurteilen. Das verwendete Modellwahlkriterium (AIC) liefert verhältnismäßig einfache Modelle mit 2 Bruchpunkten. Komplexere Modellen mit 3 oder 4 Veränderungen liefern jedoch sehr ähnliche Gütemaße. Die komplexeren Modelle (3 Bruchpunkte in Deutschland/München, 4 Bruchpunkte in Bayern) zeigen Hinweise auf einen stabilen Verlauf der Infektionszahlen Anfang und Mitte November und einen folgenden Anstieg der Infektionen ab der letzten Novemberwoche. Ein solcher Verlauf kann auch aus der geschätzten zeit-variierenden Reproduktionszahl R(t) abgelesen werden. Das weniger komplexe Modell mit zwei Bruchpunkten beschreibt anhaltend leicht steigende Infektionszahlen über den gesamten November hinweg. In den folgenden Grafiken zeigen wir jeweils die Ergebnisse beider Modelle in allen Regionen.

---

[3] Institut für Mathematik, Universität Stockholm
[4] https://corona.stat.uni-muenchen.de/nowcast/

Bayern (Berechnung vom 22.12.2020)

Abbildung 6: Bruchpunktanalyse mit 2 bzw. 4 Bruchpunkten für Bayern auf Basis der geschätzten Anzahl an täglichen Neuinfektionen.

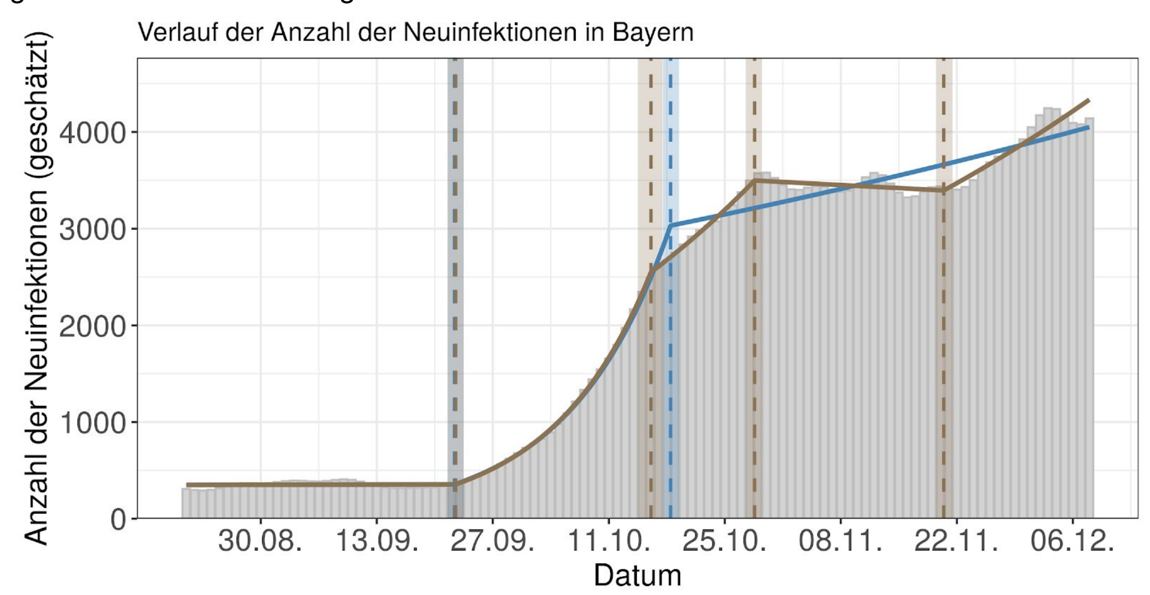
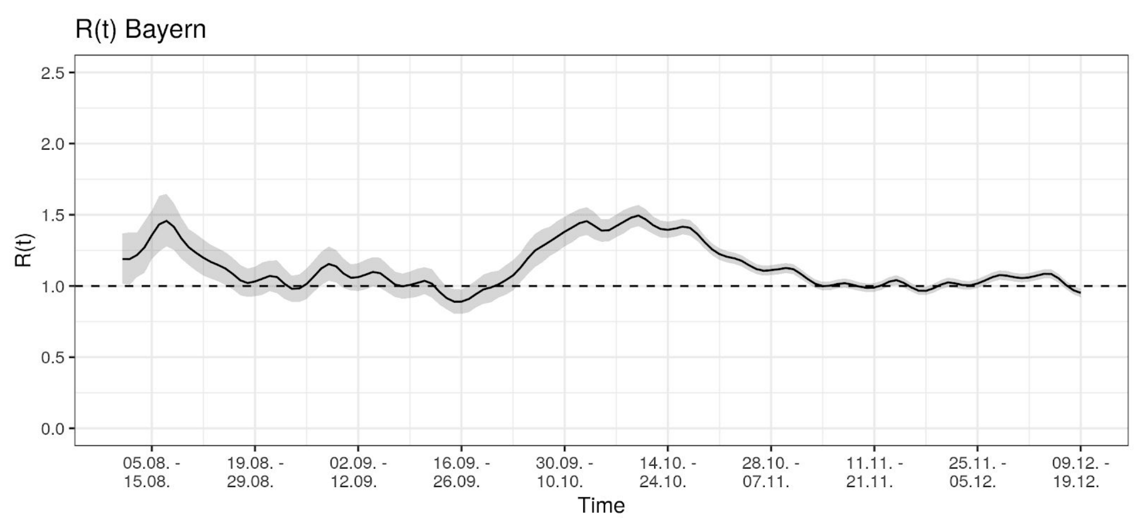


Abbildung 7 : Geschätzter Verlauf der zeit-variierenden Reproduktionszahl R(t) in Bayern



In Bayern hat ein starkes exponentielles Wachstum um den 23. September begonnen. Eine Reduktion des Wachstums ist um den 18. Oktober zu verzeichnen. Es folgt ein weiterer langsamer Anstieg der Infektionszahlen (Modell mit 2 Bruchpunkten). Hinweise gibt es für eine Stabilisierung der Neuinfektionen auf hohem Niveau Ende Oktober gefolgt von einem erneuten Anstieg der Fälle ab dem 20. November (Modell mit 4 Bruchpunkten). Das geschätzte R(t) ist zum aktuellsten Zeitpunkt kleiner eins, dies könnte ein erster Hinweis auf eine Stabilisierung des Infektionsgeschehens sein.

Deutschland (Berechnung vom 22.12.2020)

Abbildung 8: Bruchpunktanalyse mit 2 bzw. 3 Bruchpunkten für Deutschland auf Basis der geschätzten Anzahl an täglichen Neuinfektionen.

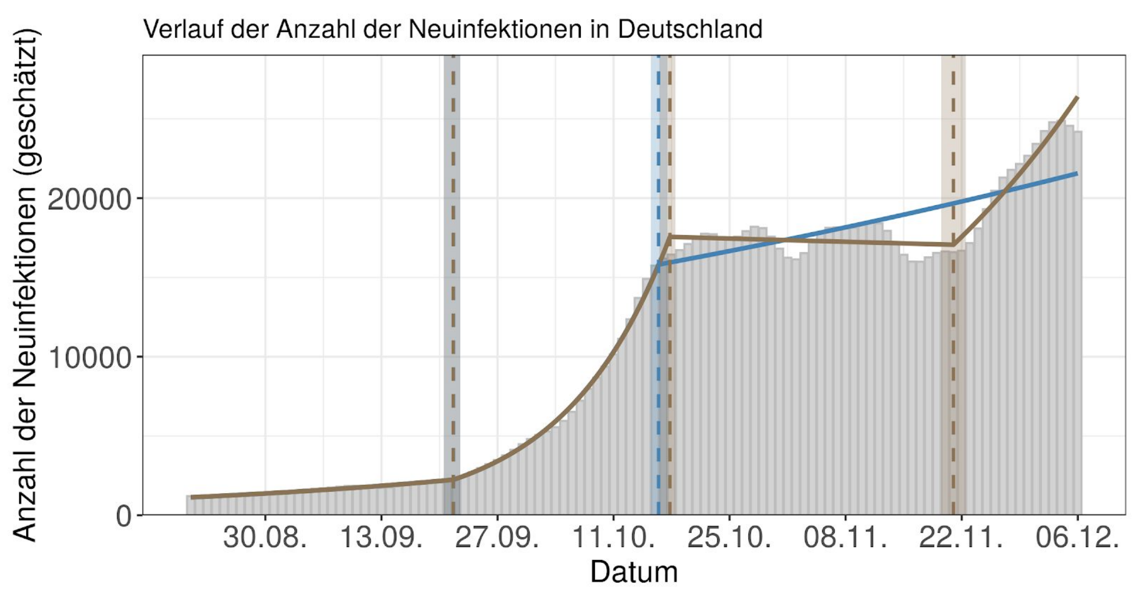
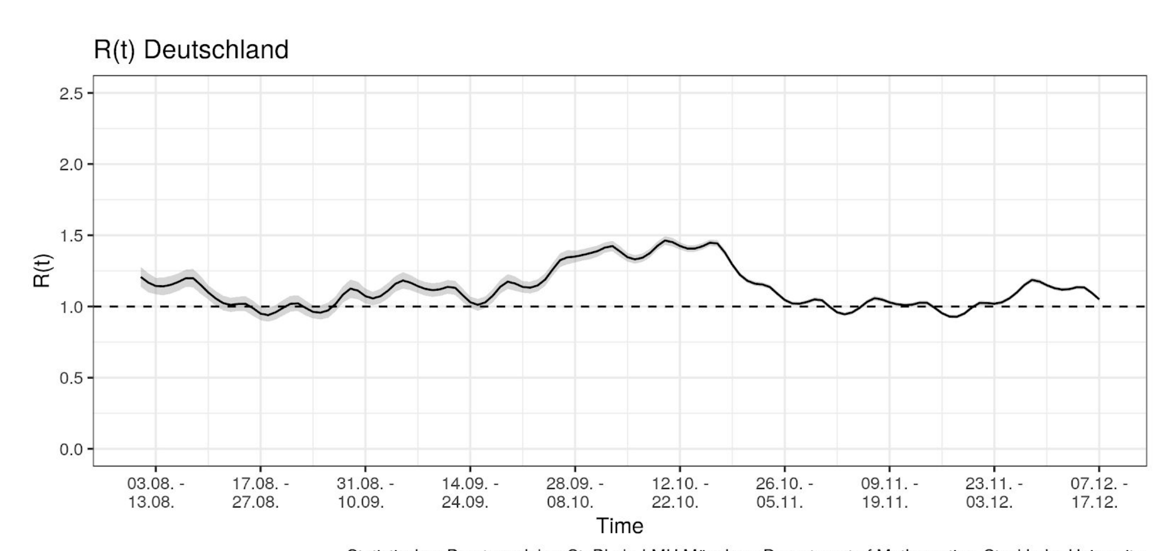


Abbildung 9 : Geschätzter Verlauf der zeit-variierenden Reproduktionszahl R(t) in Deutschland



In Deutschland insgesamt hat ein starkes exponentielles Wachstum um den 22. September begonnen. Eine deutliche Reduktion des Wachstums ist seit dem 16. Oktober zu verzeichnen. Durch eine Berücksichtigung von drei Bruchpunkten gibt es Hinweise auf eine Stabilisierung der Infektionen ab dem 18. Oktober sowie auf einen erneuten Anstieg der Neuinfektionen ab dem 21. November.

München (Berechnung vom 22.12.2020)

Abbildung 10: Bruchpunktanalyse mit 2 bzw. 3 Bruchpunkten für München auf Basis der geschätzten Anzahl an täglichen Neuinfektionen.

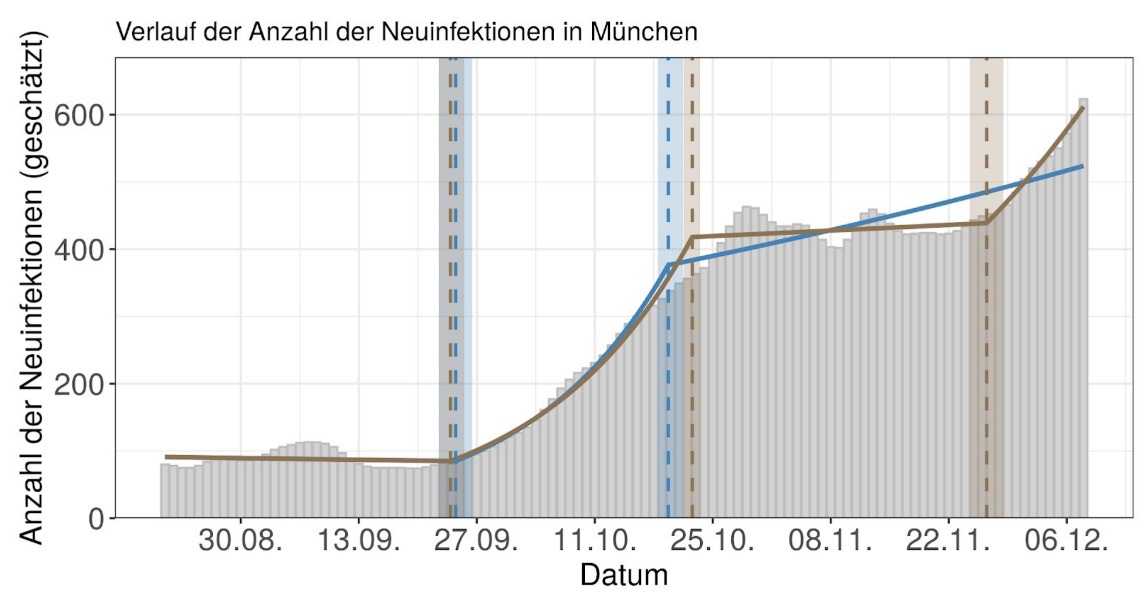
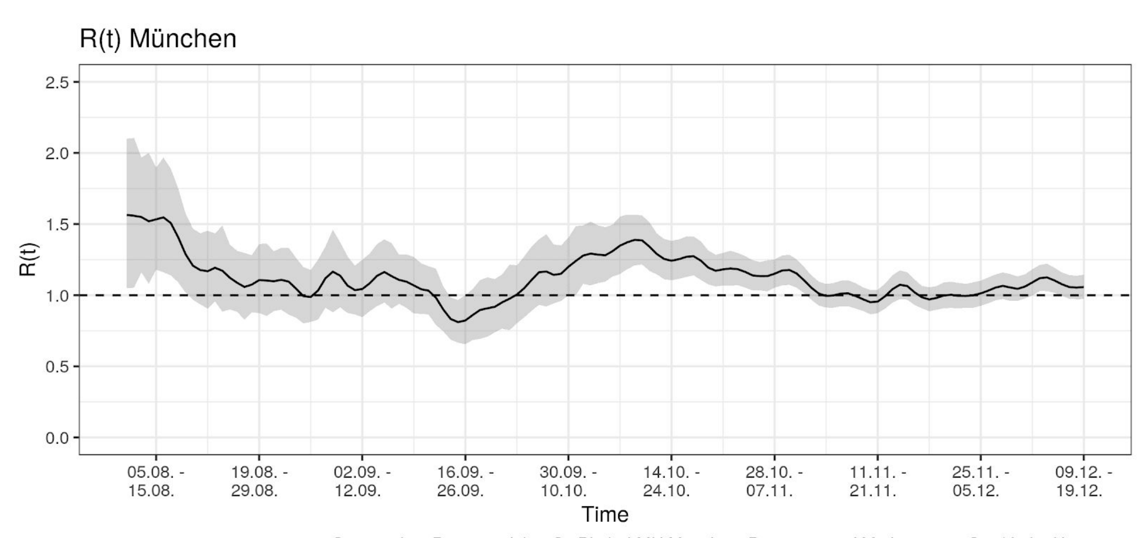


Abbildung 11 : Geschätzter Verlauf der zeit-variierenden Reproduktionszahl R(t) in München

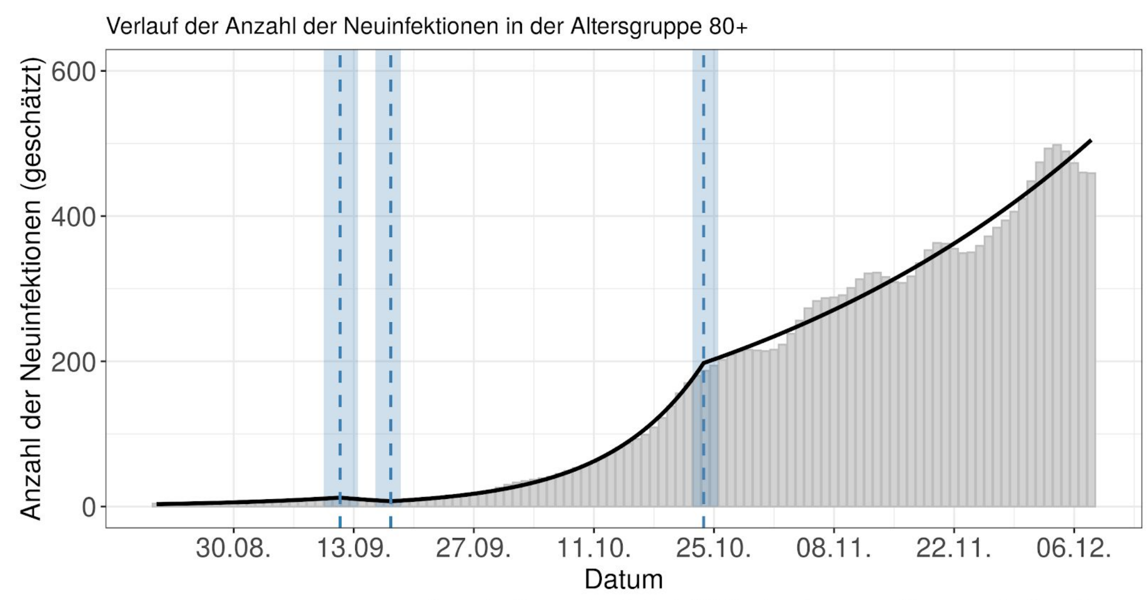


In München liegt der Beginn des starken exponentiellen Wachstums um den 24. September. Eine Stabilisierung der Zahlen beginnt am 20. Oktober. Danach folgt ein leichter Anstieg. Hinweise gibt es auf eine stabile Phase der Neuinfektionen ab dem 23. Oktober sowie einen erneuten Anstieg ab dem 27. November.

Analyse für die Altersgruppe 80+ für Bayern (Berechnung vom 22.12.2020)

Aufgrund der besonderen Gefährdung der Altersgruppe über 80 haben wir für diese Gruppe eine getrennte Bruchpunktanalyse für die Bayerischen Daten gerechnet:

Abbildung 12: Bruchpunktanalyse für Bayern in der Altersgruppe 80+ auf Basis der geschätzten Anzahl an täglichen Neuinfektionen



Auch in dieser Altersgruppe lag der Beginn eines starken exponentiellen Wachstums der Infektionszahlen Mitte September. Ab dem 24. Oktober zeigt sich zwar eine Reduktion des exponentiellen Wachstums, allerdings bleibt es danach bei einem Wachstum der Infektionszahlen mit einer geschätzten Verdopplungszeit von ca. 33 Tagen. Dies bestätigt für Bayern die Analysen der Meldezahlen aus Abschnitt 2 des Berichts und bekräftigt die Erkenntnis einer problematischen Entwicklung der Pandemie in der Hochrisikogruppe von über 80 jährigen. Die November-Maßnahmen waren nicht hinreichend geeignet die Entwicklung steigender Fallzahlen in der besonders vulnerablen Gruppe der Ältesten zu stoppen.

Insgesamt zeigen die Analysen einen Beginn des starken exponentiellen Wachstums in den letzten Septemberwochen. Eine Stabilisierung bei den gemeldeten Ansteckungen gab es schon Mitte bis Ende Oktober, also vor Inkrafttreten des "Lockdown Light", was mit dessen Ankündigung und den deutlichen Appellen zur Vermeidung von Kontakten zusammenhängen könnte. Eventuell hat der Lockdown Light mit zu einer vollständigen Stabilisierung der Infektionszahlen im November beigetragen. Ein Rückgang der Zahlen im November ist allerdings auf keiner der untersuchten räumlichen Ebenen zu erkennen. Weiter gibt es Hinweise auf wieder steigende Fallzahlen und damit eine deutliche Veränderung der Infektionszahlen Ende November.

Diese Analyse bezieht sich jeweils auf die gesamte Population. Das bedeutet nicht, dass sich das Infektionsgeschehen in einzelnen Bevölkerungsgruppen oder in einzelnen Regionen nicht abweichend verhalten hat oder teils rückläufig ist. Besonders problematisch ist, dass eine Reduktion der Neuinfektionen in der besonders vulnerablen Gruppe der Ältesten nicht gelungen ist, hier dargestellt für die Bayerischen Daten (Abbildung 12), siehe dazu auch Abschnitte 1 und 2 des Berichts. Ein Effekt des Lockdowns vom 16. Dezember kann noch nicht beurteilt werden, da es zum aktuellen Zeitpunkt wegen Inkubationszeit und Meldeverzug nur möglich ist, das Infektionsgeschehen bis ungefähr 8. Dezember nachzuvollziehen. Ein erster Hinweis auf eine Reduktion des Geschehens ist jedoch der aktuelle Wert der zeit-variierenden Reproduktionszahl R(t) von unter 1 in Bayern.

Zu beachten ist grundsätzlich, dass sich durch den Einfluss zeitlich variierender Teststrategien und Testkapazitäten der Anteil der gemeldeten Fälle von allen stattfindenden Infektionen (gemeldete Fälle plus Dunkelziffer) ändern kann. Dies ist in unseren Analysen nicht berücksichtigt. Um diesem Problem zu begegnen, ist der Verlauf der R-Werte auch angegeben. Dieser ist weniger anfällig gegen Änderungen der Teststrategie und Testkapazitäten (Brinks et al (2020)).

Literatur

R. Brinks, H. Küchenhoff, J. Timm, T. Kurth, A. Hoyer.
Epidemiological measures for informing the general public during the SARS-CoV-2-outbreak: simulation study about bias by incomplete case-detection
medRxiv, 2020. https://doi.org/10.1101/2020.09.23.20200089

F. Günther, A. Bender, K. Katz, H. Küchenhoff, and M. Höhle. *Nowcasting the COVID-19 pandemic in Bavaria.* Biometrical Journal, 2020. https://doi.org/10.1002/bimj.202000112.

H. Küchenhoff, F. Günther, M. Höhle, and A. Bender. *Analysis of the early COVID-19 epidemic curve in Germany by regression models with change points.* medRxiv, 2020. https://doi.org/2020.10.29.20222265.

M. Schneble, G. De Nicola, G. Kauermann and U. Berger. *Nowcasting fatal COVID-19 infections on a regional level in Germany.* Biometrical Journal, 2020. https://doi.org/10.1002/bimj.202000143

Robert-Koch-Institut.
Täglicher Lagebericht des RKI zur Coronavirus-Krankheit-2019 (COVID-19). 08.12.2020
https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Situationsberichte/Dez_2020/2020-12-08-de.pdf?__blob=publicationFile